

07. 2. 2005

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 4 日
Date of Application:

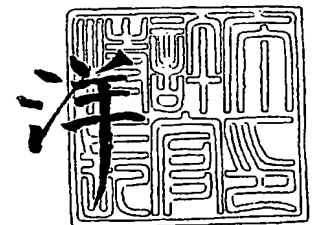
出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 2 8 0 7 9
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 4 - 0 2 8 0 7 9]

出 願 人 日 本 電 信 電 話 株 式 有 限 公 司
Applicant(s):

2 0 0 5 年 3 月 1 7 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



【書類名】 特許願
【整理番号】 NTTH156848
【提出日】 平成16年 2月 4日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 H04B 10/00
G02G 1/35

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 森 邦彦

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 佐藤 憲史

【発明者】
【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号 日本電信電話株式会社内
【氏名】 大原 拓也

【特許出願人】
【識別番号】 000004226
【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】
【識別番号】 100072718
【弁理士】
【氏名又は名称】 古谷 史旺
【電話番号】 3343-2901

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 013354
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9701422

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

マスターレーザ光を発生するマスターレーザ光源と、
光共振器中に少なくとも変調部と、増幅部と、モード分配雑音を低減する帯域制限部を含むモード同期レーザ光源部と、

前記モード同期レーザ光源部のモード同期のための前記変調部に印加する周期的信号を発生する信号発生部とを備え、

前記マスターレーザ光を前記モード同期レーザ光源部の光共振器に入射して注入同期させる構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 2】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記変調部は、電界吸収型変調器または可飽和吸収型変調器であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 3】

請求項 2 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部は、少なくとも前記変調部および前記増幅部に対応する複数の電極を有する半導体レーザ光源であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記変調部に印加される電圧、前記増幅部に流れる電流、または前記半導体レーザ光源の動作温度の制御により、光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 5】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記帯域制限部は、帯域通過型光フィルタあるいは回折格子あるいはブラッググレーティングあるいはチャープブラッググレーティングであることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 6】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記マスターレーザ光源と前記モード同期レーザ光源部との間に、前記モード同期レーザ光源部からの戻り光を阻止する光アイソレータまたは光サーキュレータを配置したことを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 7】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部に前記マスターレーザ光を入射するポートと、出力光を出射するポートが異なる構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 8】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器中に、変調部、増幅部、帯域制限部がこの順に配置され、変調部側から前記マスターレーザ光が入射される構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 9】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記マスターレーザ光源から出力されるマスターレーザ光を変調する光変調手段と、

前記モード同期レーザ光源部の変調部に印加する周期的信号と同期した周期的信号を発生する信号発生部とを備え、

前記信号発生部から出力される周期的信号によって前記マスターレーザ光を変調して前記モード同期レーザ光源部に入力する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 10】

請求項 2 に記載のモード同期レーザ光源において、
前記モード同期レーザ光源部の変調部に流れる平均電流値を検出する変調部平均電流測定部と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記変調部平均電流測定部で測定される平均電流値が、前記モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均電流値より小さくなるように前記光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 11】

請求項 10 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記光共振器長制御部は、前記変調部平均電流測定部で測定される平均電流値が、前記モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均電流値の 90% 以下になるように前記光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 12】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の出力光の平均光強度を検出する光強度測定部と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記光強度測定部で測定される平均光強度が、前記モード同期レーザ光源部に前記マスターレーザ光が入射されないときの平均光強度より大きくなるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 13】

請求項 12 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記光共振器長制御部は、前記光強度測定部で測定される平均光強度が、前記モード同期レーザ光源部に前記マスターレーザ光が入射されないときの平均光強度の 105% 以上になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 14】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の出力光に含まれる縦モードの線幅を検出する線幅測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定される縦モードの線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 15】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の出力光の縦モードと前記マスターレーザ光のビート信号の線幅を検出する線幅測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定されるビート信号の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 16】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の出力光に含まれる縦モードの CN 比を検出する CN 比測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記 CN 比測定手段で測定される縦モードの CN 比が極大になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項 17】

請求項 1 に記載のモード同期レーザ光源において、

前記モード同期レーザ光源部の出力光の縦モードと前記マスターレーザ光のビート信号

のCN比または強度を検出するCN比／強度測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定されるビート信号のCN比が極大または強度が最大になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするモード同期レーザ光源。

【請求項18】

請求項1～請求項17のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、

前記モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と
を備えたことを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項19】

請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、

前記モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、

前記導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光の線幅を検出する線幅測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定されるキャリア光の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項20】

請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、

前記モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、

前記導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光と前記マスターレーザ光のビート信号の線幅を検出する線幅測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定されるビート信号の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項21】

請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、

前記モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、

前記導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のCN比を検出するCN比測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記CN比測定手段で測定されるキャリア光のCN比が極大になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項22】

請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、

前記モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、

前記導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光と前記マスターレーザ光のビート信号のCN比または強度を検出するCN比／強度測定手段と、

前記モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、

前記光共振器長制御部は、前記線幅測定手段で測定されるビート信号のCN比が極大または強度が最大になるように光共振器長を制御する構成であることを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項23】

請求項18～請求項22のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、

前記導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、前記モード同期レーザ光源の出力光の平均波長における分散値（単位：ps/nm/km）が正から負に減少する特性を有することを

特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 24】

請求項 23 に記載のマルチキャリア光源において、
前記導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有することを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 25】

請求項 18～請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、
前記導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、前記モード同期レーザ光源の出力光の平均波長における分散値が 0 から $-0.5[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ で、かつ波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有することを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 26】

請求項 18～請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、
前記導波路型光非線形媒質は、前記モード同期レーザ光源の出力光の平均波長における分散スロープの絶対値が $0.1[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$ 以下で、非線形定数 γ が $10[\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}]$ 以上のホーリーファイバであることを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 27】

請求項 18～請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、
前記モード同期レーザ光源と前記導波路型光非線形媒質との間に光増幅器を配置したことを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 28】

請求項 18～請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、
前記モード同期レーザ光源と前記導波路型光非線形媒質との間に、前記モード同期レーザ光源の出力光の時間幅を圧縮するパルス圧縮器を配置したことを特徴とするマルチキャリア光源。

【請求項 29】

請求項 18～請求項 22 のいずれかに記載のマルチキャリア光源において、
マルチキャリア光源を構成する各要素を偏波保持型としたことを特徴とするマルチキャリア光源。

【書類名】明細書

【発明の名称】モード同期レーザ光源およびこれを用いたマルチキャリア光源

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチキャリア光を発生するための安定した光源となるモード同期レーザ光源およびこれを用いたマルチキャリア光源に関する。

【背景技術】

【0002】

等しい周波数間隔でキャリア光が整列したマルチキャリア光源は、通信用および計測用光源として有用である。

【0003】

図26は、マルチキャリア光源の第1の従来例を示す（非特許文献1）。本従来例は、キャリア光数が数十程度の場合に適するものであり、単一波長光源81をキャリア光数分用意し、それぞれから出力されるキャリア光を波長合波器82で合波する構成である。小型化のためには、単一波長光源81として、分布帰還型半導体レーザ等の小型光源が用いられる。

【0004】

図27は、マルチキャリア光源の第2の従来例を示す。本従来例は、分布帰還型半導体レーザ等の単一波長光源81の出力光（中心光周波数 ν_0 ）を、発振器83から出力される繰り返し周波数 f の信号で駆動される光変調器（強度変調器や位相変調器など）84に投入し、複数かつ等間隔の側帯波を発生させてマルチキャリア化する構成である。さらに、多くのキャリア光が必要な場合には、非特許文献2に示すように、複数の単一波長光源の出力光を多重してから光変調器で変調する構成をとる。マルチキャリア光の周波数間隔は光変調器の変調周波数となるが、マルチキャリア光の線幅および周波数安定性は、単一波長光源の出力光と同等である。

【0005】

また、マルチキャリア光源の第3の従来例には、ファブリペローレーザ光源（非特許文献3）あるいはモード同期レーザ光源（非特許文献4）等の多モードレーザ光源を用い、等周波数間隔のマルチキャリア光を発生させるものがある。多数のキャリア光を発生させるためには、レーザ共振器中にフィルタ等の帯域制限手段を設けない。一方、発振光周波数を安定化するには、外部光による注入同期（非特許文献4）や、波長フィルタを利用した光周波数ロッキング手段が用いられている。

【0006】

図28は、マルチキャリア光源の第4の従来例を示す。本従来例は、パルス光源85の変調部を信号発生部86から供給される周期的信号で駆動し、その出力パルス光を導波路型光非線形媒質87に入力してマルチキャリア光を発生させる構成である。導波路型光非線形媒質87では、パルス光源85の出力パルス光を種として、スーパーコンティニウム等の非線形光学効果に基づくスペクトル増大現象を起こし、出力パルス光に含まれるキャリア光の本数を増大させる。マルチキャリア光の周波数間隔は、出力パルス光の繰り返し周波数となる。このパルス光源85には、単一波長光源と外部変調器を組み合わせた光源（非特許文献5）、あるいはモード同期レーザ光源（非特許文献6）などを用いることができる。

【非特許文献1】 500Gb/s (50×10Gb/s) WDM transmission over 4000km using broadband EDFAs and low dispersion slope fiber, OFC/IIOC '99 Postdeadline Papers, 1999

【非特許文献2】 12.5GHz Spaced 1.28Tb/s (512-Channel×2.5Gb/s) Super-Dense WDM Transmission Over 320km SMF Using Multiwavelength Generation Technique, IEEE Photonics Technology Letters, vol.14, no.3, 2002

【非特許文献3】 注入同期におけるF-P-LDの伝送特性の縦モード依存性、2002年電子情報通信学会総合大会、B-10-155

【非特許文献4】Experimental Investigation of Injection Locking of Fundamental and Subharmonic Frequency-Modulated Active Mode-Locked Laser Diodes, IEEE Journal of Quantum Electronics, vol.34, no.9, 1998

【非特許文献5】位相変調器を用いた低雑音光周波数コムが発生、第1回マイクロ波・ミリ波フォトンクス(MWP)研究会、電子情報通信学会、MWP03-3, 2003

【非特許文献6】More than 1000 channel optical frequency chain generation from single supercontinuum source with 12.5GHz channel spacing, ELECTRONICS LETTERS, vol.36, no.25, 2000

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

第1の従来例および第2の従来例の複数の単一波長光源を用いる構成は、各光源の光周波数が等間隔になるように制御・安定化する必要があり、キャリア光の数が100を越えるような場合には、サイズおよびコスト的にも非現実的なものになる。

【0008】

多モードレーザ光源を用いる第3の従来例では、多数のキャリア光を発生させようとすると、多モードレーザ光源に特有のモード分配雑音が発生し、各キャリア光の品質が劣化する。一方、多モードレーザ光源において帯域制限すると、モード分配雑音が低減して各キャリア光の品質は改善されるが、多数のキャリア光を発生させることは困難になる。すなわち、多モードレーザ光源における帯域制限は、キャリア光の発生数と品質のトレードオフの関係をもたらす。

【0009】

第4の従来例におけるキャリア光の品質は、非線形光学効果に基づくスペクトル増大現象を用いているために、一般に種となるパルス光の品質と同等かそれ以下で、単一波長光源出力の品質と比較して劣っていた。

【0010】

本発明は、各キャリア光の周波数を安定化し、かつ高品質のマルチキャリア光を発生させることができるモード同期レーザ光源およびそれを用いたマルチキャリア光源を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

(モード同期レーザ光源)

請求項1に記載のモード同期レーザ光源は、マスターレーザ光を発生するマスターレーザ光源と、光共振器中に少なくとも変調部と、増幅部と、モード分配雑音を低減する帯域制限部を含むモード同期レーザ光源部と、モード同期レーザ光源部のモード同期のための変調部に印加する周期的信号を発生する信号発生部とを備え、マスターレーザ光をモード同期レーザ光源部の光共振器に入射して注入同期させる構成である。なお、マスターレーザ光源には、光周波数がモード同期レーザ光源部のフリーランニング時の光周波数より安定であり、かつ線幅が小さいものを用いる。

【0012】

ここで、変調部は、電界吸収型変調器または可飽和吸収型変調器としてもよい(請求項2)。このとき、モード同期レーザ光源部は、少なくとも変調部および増幅部に対応する複数の電極を有する半導体レーザ光源としてもよい(請求項3)。また、変調部に印加される電圧、増幅部に流れる電流、または半導体レーザ光源の動作温度の制御により、光共振器長を制御する構成としてもよい(請求項4)。

【0013】

帯域制限部は、帯域通過型光フィルタあるいは回折格子あるいはブラッググレーティングあるいはチャープブラッググレーティングとしてもよい(請求項5)。

【0014】

請求項6に記載のモード同期レーザ光源は、マスターレーザ光源とモード同期レーザ光

源部との間に、モード同期レーザ光源部からの戻り光を阻止する光アイソレータまたは光サーキュレータを配置する。請求項 7 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光を入射するポートと、出力光を出射するポートが異なる構成である。請求項 8 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の光共振器中に、変調部、増幅部、帯域制限部がこの順に配置され、変調部側からマスターレーザ光が入射される構成である。請求項 9 に記載のモード同期レーザは、マスターレーザ光源から出力されるマスターレーザ光を変調する光変調手段と、モード同期レーザ光源部の変調部に印加する周期的信号と同期した周期的信号を発生する信号発生部とを備え、信号発生部から出力される周期的信号によってマスターレーザ光を変調してモード同期レーザ光源部に入力する構成とする。

【0015】

請求項 10 に記載のモード同期レーザ光源は、変調部に電界吸収型変調器または可飽和吸収型変調器を用いた請求項 2 に記載のモード同期レーザ光源において、モード同期レーザ光源部の変調部に流れる平均電流値を検出する変調部平均電流測定部と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、変調部平均電流測定部で測定される平均電流値が、モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均電流値より小さくなるように光共振器長を制御する構成である。

【0016】

ここで、光共振器長制御部は、変調部平均電流測定部で測定される平均電流値が、モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均電流値の 90% 以下になるように光共振器長を制御する構成としてもよい（請求項 11）。

【0017】

請求項 12 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の出力光の平均光強度を検出する光強度測定部と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、光強度測定部で測定される平均光強度が、モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均光強度より大きくなるように光共振器長を制御する構成である。

【0018】

ここで、光共振器長制御部は、光強度測定部で測定される平均光強度が、モード同期レーザ光源部にマスターレーザ光が入射されないときの平均光強度の 105% 以上になるように光共振器長を制御する構成としてもよい（請求項 13）。

【0019】

請求項 14 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の出力光に含まれる縦モードの線幅を検出する線幅測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定される縦モードの線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成である。

【0020】

請求項 15 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の出力光の縦モードとマスターレーザ光のビート信号の線幅を検出する線幅測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定されるビート信号の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成である。

【0021】

請求項 16 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の出力光に含まれる縦モードの CN 比を検出する CN 比測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、CN 比測定手段で測定される縦モードの CN 比が極大になるように光共振器長を制御する構成である。

【0022】

請求項 17 に記載のモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部の出力光の縦モ

ードとマスターレーザ光のビート信号のCN比または強度を検出するCN比／強度測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定されるビート信号のCN比が極大または強度が最大になるように光共振器長を制御する構成である。

【0023】

(マルチキャリア光源)

請求項18に記載のマルチキャリア光源は、請求項1～請求項15のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質とを備える。

【0024】

請求項19に記載のマルチキャリア光源は、請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光の線幅を検出する線幅測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定されるキャリア光の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成である。

【0025】

請求項20に記載のマルチキャリア光源は、請求項1～請求項9のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光とマスターレーザ光のビート信号の線幅を検出する線幅測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定されるビート信号の線幅が極小になるように光共振器長を制御する構成である。

【0026】

請求項21に記載のマルチキャリア光源は、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のCN比を検出するCN比測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、CN比測定手段で測定されるキャリア光のCN比が極大になるように光共振器長を制御する構成である。

【0027】

請求項22に記載のマルチキャリア光源は、請求項1～請求項7のいずれかに記載のモード同期レーザ光源と、モード同期レーザ光源の出力光を入力し、そのスペクトル帯域を増大させて生成されるマルチキャリア光を出力する導波路型光非線形媒質と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光とマスターレーザ光のビート信号のCN比または強度を検出するCN比／強度測定手段と、モード同期レーザ光源部の光共振器長を制御する光共振器長制御部とを備え、光共振器長制御部は、線幅測定手段で測定されるビート信号のCN比が極大または強度が最大になるように光共振器長を制御する構成である。

【0028】

ここで、導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、モード同期レーザ光源の出力光の平均波長における分散値(単位:ps/nm/km)が正から負に減少する特性を有するようにしてもよい(請求項23)。

【0029】

また、請求項23に記載の導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有するようにしてもよい(請求項24)。

【0030】

また、導波路型光非線形媒質の全長あるいは一部は、モード同期レーザ光源の出力光の

平均波長における分散値が0から $-0.5[\text{ps}/\text{nm}/\text{km}]$ で、かつ波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有するようにしてもよい(請求項25)。

【0031】

また、導波路型光非線形媒質は、モード同期レーザー光源の出力光の平均波長における分散スロープの絶対値が $0.1[\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}]$ 以下で、非線形定数 γ が $10[\text{W}^{-1}\text{km}^{-1}]$ 以上のホーリーファイバとしてもよい(請求項26)。

【0032】

請求項27に記載のマルチキャリア光源は、モード同期レーザー光源と導波路型光非線形媒質との間に光増幅器を配置する。

【0033】

請求項28に記載のマルチキャリア光源は、モード同期レーザー光源と導波路型光非線形媒質との間に、モード同期レーザー光源の出力光の時間幅を圧縮するパルス圧縮器を配置する。

【0034】

請求項29に記載のマルチキャリア光源は、マルチキャリア光源を構成する各要素を偏波保持型とする。

【発明の効果】

【0035】

本発明のモード同期レーザー光源は、モード同期レーザー光源部に配置した帯域成分部の効果、およびマスターレーザー光源から出力されるマスターレーザー光による注入同期の効果により、出力光の低雑音化および狭線幅化を図ることができる。

【0036】

また、モード同期レーザー光源部の変調部に流れる平均電流、出力光の平均光電力、出力光に含まれる縦モードの線幅あるいはC/N比、マスターレーザー光とモード同期レーザー光源部の出力光のビート信号の線幅あるいはC/N比を用いてマスターレーザー光とのロッキング状態を監視し、それに基づいてモード同期レーザー光源部の光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を長時間維持することができる。

【0037】

本発明のマルチキャリア光源は、低雑音化および狭線幅化されたモード同期レーザー光源の出力光を導波路型光非線形媒質に入力することにより、各キャリア光の周波数が安定化し、かつ高品質のマルチキャリア光を発生させることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0038】

(モード同期レーザー光源の第1の実施形態)

図1は、本発明のモード同期レーザー光源の第1の実施形態を示す。図において、モード同期レーザー光源は、マスターレーザー光源10と、対向するミラー21、22で形成される光共振器中に変調部23と増幅部24と帯域制限部25を含むモード同期レーザー光源部20aと、信号発生部30から構成される。本実施形態の特徴は、モード同期レーザー光源部20aに帯域制限部25を設けたところと、マスターレーザー光源10から出力されるマスターレーザー光をモード同期レーザー光源部20aの光共振器に入射して注入同期させるところにある。なお、モード同期レーザー光源部20aには出力ポートに加え、マスターレーザー光を入射するための入力ポートを別に設けることが望ましい。これにより、モード同期レーザー光源部20aの出力光にマスターレーザー光が直接混入することを防止することができる。

【0039】

モード同期レーザー光源部20aの変調部23には、信号発生部(例えば発振器)30からモード同期のための周期的信号が印加される。帯域制限部25は、帯域通過型光フィルタ(例えば多層膜光フィルタ)あるいは回折格子あるいはブラッググレーティングあるいはチャープブラッググレーティングが用いられる。この帯域制限部25の波長フィルタリング効果により、モード同期レーザー光源部20aの出力光のモード分配雑音が低減化され

る。なお、本実施形態では、ミラー 21, 22 間に、変調部 23、増幅部 24、帯域制限部 25 の順に配置され、変調部 23 側からマスターレーザ光が入射される構成をとっている。この構成は、帯域制限部 25 として回折格子、ブラッググレーティングあるいはチャープブラッググレーティングが用いられる場合に、光共振器へのマスターレーザ光の入射効率が向上する利点がある。ただし、一般には変調部 23、増幅部 24、帯域制限部 25 の配置は本実施形態の配置例に限定されず、その順番は任意であり、また例えば衝突パルス型モード同期レーザのように複数の増幅部を設け、光共振器の中央に変調部を配置する構成としてもよい。

【0040】

マスターレーザ光源 10 には、光周波数がモード同期レーザ光源部 20a のフリーランニング時の光周波数より安定であり、線幅が小さいものを用いる。マスターレーザ光源 10 から出力されるマスターレーザ光をモード同期レーザ光源部 20a に注入することにより、モード同期レーザ光源部 20a の出力光のスペクトルの縦モードがマスターレーザ光の光周波数にロックされる注入同期現象が起こる。これにより、モード同期レーザ光源部 20a の出力光は、帯域成分部 25 の効果および注入同期の効果により、低雑音化および狭線幅化される。ただし、マルチキャリア光としての帯域および縦モード本数は十分ではない。

【0041】

(モード同期レーザ光源の第 2 の実施形態)

図 2 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 2 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、リング型共振器を構成するモード同期レーザ光源部 20b を用いるところにある。モード同期レーザ光源部 20b は、光結合器 26、変調部 23、増幅部 24、帯域制限部 25、光分岐器 27 をリング状に結合し、マスターレーザ光源 10 から出力されるマスターレーザ光を光結合器 26 を介して入力し、出力光は光分岐器 27 を介して出力する。なお、光共振器中に光アイソレータを挿入してもよい。

【0042】

(モード同期レーザ光源の第 3 の実施形態)

図 3 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 3 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、モード同期レーザ光源部 20c として、基板上にモノリシックに変調部 23、増幅部 24 および帯域制限部 25 を形成した半導体レーザ光源を用いるところにある。これによりサイズが小型化される。なお、変調部 23 に印加する信号を供給する信号発生部 30 には、バイアス電圧付与手段が付加される。

【0043】

(モード同期レーザ光源の第 4 の実施形態)

図 4 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 4 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は第 1 の実施形態～第 3 の実施形態において、マスターレーザ光源 10 とモード同期レーザ光源部 20 (20a, 20b, 20c) との間に、モード同期レーザ光源からマスターレーザ光源への戻り光の悪影響を防止するために光アイソレータ 41 を備えるところにある。なお、半導体レーザ光源を用いたモード同期レーザ光源部 20c の場合には、出力ポートにも光アイソレータを備えてもよい。

【0044】

(モード同期レーザ光源の第 5 の実施形態)

図 5 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 5 の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、第 1 の実施形態～第 3 の実施形態におけるモード同期レーザ光源部 20 が 1 つのポート (出力ポート) のみを有する場合に、その出力ポート側から、マスターレーザ光源 10 から出力されたマスターレーザ光を注入するところにある。モード同期レーザ光源の出力光とマスターレーザ光の分離は、光サーキュレータ 42 により行う。

【0045】

(モード同期レーザ光源の第 6 の実施形態)

図 6 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 6 の実施形態を示す。第 1 の実施形態～第

5の実施形態におけるモード同期レーザ光源部20の注入同期は、温度等の外部環境によりロックがはずれることがある。本実施形態は、長時間安定にロックするための安定化手段（注入同期条件の調整）として、モード同期レーザ光源部20の光共振器長（光路長）を制御するための構成例を示す。

【0046】

図において、変調部平均電流測定部43は、モード同期レーザ光源部20の変調部23に流れる平均電流をモニタし、ロッキング状態を判断する。光共振器長制御部44は、変調部平均電流測定部43のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部20の光共振器長を制御する。このような電流モニタが可能な変調部23としては、例えば電界吸収型変調器や可飽和吸収型変調器などを用いることができる。

【0047】

光共振器長の制御は、光共振器の幾何学的長さを変化させる方法と、光共振器内の屈折率を変化させる方法がある。リング型共振器（図2）のように光共振器長が長い場合には前者の方法が容易である。半導体レーザ光源（図3）の場合には後者の方法が容易であり、例えば増幅部24に流れる電流、あるいは変調部23に印加する電圧、あるいは動作温度を変化させてレーザ導波路の屈折率を変化させることにより、等価的に光共振器長を制御することができる。

【0048】

図7は、モード同期レーザ光源部20の動作温度を変化させて光共振器長を変化させた場合のロッキング特性を示す。横軸は動作温度、縦軸はモード同期レーザ光源部20の出力光とマスターレーザ光とのビート周波数を表し、プロットの変化が平坦な部分は注入同期が起きていることを表す。

【0049】

図8は、モード同期レーザ光源部20の変調部23を流れる平均電流の温度依存性を示す。平均電流が大きく変化する動作温度の範囲は、注入同期が起きるロッキング範囲と対応している。これにより、変調部23を流れる平均電流をモニタすることにより、マスターレーザ光とのロッキング状態を判断することができる。すなわち、光共振器長制御部44は、変調部平均電流測定部43で測定される平均電流値が、マスターレーザ光がモード同期レーザ光源部20に入射されないときの平均電流値より小さくなるように、例えば90%以下になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0050】

（モード同期レーザ光源の第7の実施形態）

図9は、本発明のモード同期レーザ光源の第7の実施形態を示す。本実施形態は、モード同期レーザ光源部20のロッキング状態安定化（注入同期条件の調整）のための他の構成例を示す。

【0051】

図において、光強度測定部45は、モード同期レーザ光源部20の出力光の一部を光分岐器46を介して入力し、その平均光強度をモニタしてロッキング状態を判断する。光共振器長制御部44は、光強度測定部45のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部20の光共振器長を制御する。光共振器長の制御は、第6の実施形態と同様である。

【0052】

図10は、モード同期レーザ光源部20の出力光の平均光強度の温度依存性を示す。出力光の平均光強度が大きく変化する動作温度の範囲は、注入同期が起きるロッキング範囲と対応している。これにより、出力光の平均光強度をモニタすることにより、マスターレーザ光とのロッキング状態を判断することができる。すなわち、光共振器長制御部44は、光強度測定部45で測定される平均光強度が、マスターレーザ光がモード同期レーザ光源部20に入射されないときの平均光強度より大きくなるように、例えば105%以上になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0053】

(モード同期レーザ光源の第 8 の実施形態)

図 11 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 8 の実施形態を示す。本実施形態は、モード同期レーザ光源部 20 のロッキング状態安定化（注入同期条件の調整）のための他の構成例を示す。

【0054】

図において、光フィルタリング部 47 および線幅測定部 48 は、モード同期レーザ光源部 20 の出力光の一部を光分岐器 46 を介して入力し、その出力光に含まれる縦モードの 1 つを光学的に分離し、その線幅をモニタしてロッキング状態を判断する。光共振器長制御部 44 は、線幅測定部 48 のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部 20 の光共振器長を制御する。光共振器長の制御は、第 6 の実施形態と同様である。線幅測定部 48 は、遅延自己ヘテロダイン方等の測定方法により 1 つの縦モードの線幅の測定が可能である。

【0055】

ここで、モード同期レーザ光源部 20 の出力光の縦モード線幅の測定例に代えて、後述するモード同期レーザ光源部 20 の出力光を入力する導波路型光非線形媒質（マルチキャリア光源）の出力光中のキャリア光線幅の測定例を図 12 に示す。なお、同じ光周波数では、モード同期レーザ光源部 20 の出力光の縦モードの線幅と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光の線幅はほぼ等しい。

【0056】

図 12 において、黒丸はモード同期レーザ光源部 20 にマスターレーザ光を注入した場合であり、白丸は注入がない場合である。線幅が狭いマスターレーザ光によってモード同期レーザ光源部 20 をロックすることにより、モード同期レーザ光源部 20 の出力光の縦モード線幅（導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光線幅）が極小となる。これにより、出力光の縦モード線幅（導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光線幅）をモニタすることにより、マスターレーザ光とのロッキング状態を判断することができる。すなわち、光共振器長制御部 44 は、線幅測定部 48 で測定される線幅が極小になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0057】

(モード同期レーザ光源の第 9 の実施形態)

図 13 は、本発明のモード同期レーザ光源の第 9 の実施形態を示す。本実施形態は、モード同期レーザ光源部 20 のロッキング状態安定化（注入同期条件の調整）のための他の構成例を示す。

【0058】

図において、光分岐器 46-1 で分岐されるマスターレーザ光の一部と、光分岐器 46-2 で分岐されるモード同期レーザ光源部 20 の出力光の一部を光ミキサ 49 で結合し、出力光に含まれる縦モードの 1 つ（マスターレーザ光の周波数に最も近い縦モード）とマスターレーザ光のビート信号の線幅を線幅測定部 48 でモニタしてロッキング状態を判断する。光共振器長制御部 44 は、線幅測定部 48 のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部 20 の光共振器長を制御する。光共振器長の制御は、第 6 の実施形態と同様である。光ミキサ 49 は、フォトディテクタ等の光検出器を用いることができる。なお、光周波数シフタ 50 を用いてマスターレーザ光の周波数をシフトさせて光ヘテロダイン検波する構成とすれば、線幅の測定をより容易に行うことができる。

【0059】

モード同期レーザ光源部 20 がマスターレーザ光とロックした場合には、モード同期レーザ光源部 20 の出力光の縦モードとマスターレーザ光とのビート信号の線幅は極小になる。よって、光共振器長制御部 44 は、線幅測定部 48 で測定されるビート信号の線幅が極小になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0060】

(モード同期レーザ光源の第 10 の実施形態)

図14は、本発明のモード同期レーザ光源の第10の実施形態を示す。本実施形態は、モード同期レーザ光源部20のロッキング状態安定化（注入同期条件の調整）のための他の構成例を示す。

【0061】

図において、光フィルタリング部47およびCN比測定部51は、モード同期レーザ光源部20の出力光の一部を光分岐器46を介して入力し、その出力光に含まれる縦モードの1つを光学的に分離し、そのCN比をモニタしてロッキング状態を判断する。光共振器長制御部44は、CN比測定部51のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部20の光共振器長を制御する。光共振器長の制御は、第6の実施形態と同様である。CN比測定部51は、フォトディテクタと光スペクトラムアナライザ等を用いて測定した相対強度雑音を信号の帯域で積分することにより、縦モードのCN比を測定することができる。

【0062】

ここで、モード同期レーザ光源部20の出力光の縦モードのCN比の測定例に代えて、後述するモード同期レーザ光源部20の出力光を入力する導波路型光非線形媒質（マルチキャリア光源）の出力光中のキャリア光のCN比の測定例を図15に示す。なお、マスターレーザ光の注入によるモード同期レーザ光源部20の出力光の縦モードのCN比の改善量と、導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のCN比の改善量はほぼ等しい。

【0063】

図15において、黒丸はモード同期レーザ光源部20にマスターレーザ光を注入した場合であり、白丸は注入がない場合である。マスターレーザ光によってモード同期レーザ光源部20をロックすることにより、モード同期レーザ光源部20の出力光（導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光）のCN比が極大となる。これにより、出力光の縦モードのCN比（導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のCN比）をモニタすることにより、マスターレーザ光とのロッキング状態を判断することができる。すなわち、光共振器長制御部44は、CN比測定部51で測定されるCN比が極大になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0064】

（モード同期レーザ光源の第11の実施形態）

図16は、本発明のモード同期レーザ光源の第11の実施形態を示す。本実施形態は、モード同期レーザ光源部20のロッキング状態安定化（注入同期条件の調整）のための他の構成例を示す。

【0065】

図において、光分岐器46-1で分岐されるマスターレーザ光の一部と、光分岐器46-2で分岐されるモード同期レーザ光源部20の出力光の一部を光ミキサ49で結合し、出力光に含まれる縦モードの1つ（マスターレーザ光の周波数に最も近い縦モード）とマスターレーザ光のビート信号のCN比または強度をCN比／強度測定部51でモニタしてロッキング状態を判断する。光共振器長制御部44は、CN比／強度測定部51のモニタ結果に応じて、モード同期レーザ光源部20の光共振器長を制御する。光共振器長の制御は、第6の実施形態と同様である。光ミキサ49は、フォトディテクタ等の光検出器を用いることができる。なお、光周波数シフタ50を用いてマスターレーザ光の周波数をシフトさせて光ヘテロダイン検波する構成とすれば、CN比の測定をより容易に行うことができる。

【0066】

モード同期レーザ光源部20がマスターレーザ光とロックした場合には、モード同期レーザ光源部20の出力光の縦モードとマスターレーザ光とのビート信号のCN比は極大になり、強度は最大になる。よって、光共振器長制御部44は、CN比測定部48で測定されるビート信号のCN比が極大、または強度が最大になるように光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を維持することができる。

【0067】

（モード同期レーザ光源の第12の実施形態）

図17は、本発明のモード同期レーザ光源の第12の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、マスターレーザ光源10からモード同期レーザ光源部20に入力するマスターレーザ光を変調する光変調手段60と、モード同期レーザ光源部20の変調部に印加する周期的信号と同期した周期的信号を発生する信号発生部70を備え、信号発生部70から出力される周期的信号によってマスターレーザ光を変調するところにある。なお、この2つの周期的信号の周波数は等しいか整数倍の関係にある。また、光変調手段60を用いる代わりに、マスターレーザ光源10を直接変調する構成としてもよい。

【0068】

(マルチキャリア光源の第1の実施形態)

以上説明したモード同期レーザ光源は、モード同期レーザ光源部20に配置した帯域成分部25の効果、およびマスターレーザ光源10から出力されるマスターレーザ光による注入同期の効果により、非特許文献4などのモード同期レーザでは実現されていない出力光の低雑音化および狭線幅化を図ることができる。ただし、マルチキャリア光としての帯域および縦モード本数は十分ではないので、多数のマルチキャリア光を発生させるために次のような構成をとる。

【0069】

本発明のマルチキャリア光源は、図18に示すように、本発明のモード同期レーザ光源1の出力光を導波路型光非線形媒質2に入力する構成である。導波路型光非線形媒質2では、モード同期レーザ光源1の出力光を種として、スーパーコンティニウム等の非線形光学効果に基づくスペクトル増大現象を起こし、出力光の縦モードの本数を数十から数百倍に増大させてマルチキャリア光を出力する。モード同期レーザ光源1の出力光の縦モードはマスターレーザ光の光周波数にロックされ、低雑音および狭線幅であるので、それから生成されるマルチキャリア光も高特性となる。

【0070】

図19および図20は、本発明のマルチキャリア光源の出力スペクトルの一例を示す。図19は、モード同期レーザ光源1にマスターレーザ光によって注入同期した場合であり、図20は注入同期がない場合である。キャリア光が密集して黒い帯のように見えるスペクトルの縦方向の幅は、各キャリア光の可視度に対応し、縦幅が大きいほど品質のよい出力光であることを表す。この2つの出力スペクトル例からも、マスターレーザ光による注入同期により可視度が改善されていることが分かる。特に、モード同期レーザ光源1の出力光波長(約1550nm)から離れた波長において、注入同期による改善効果が顕著である。

【0071】

ここで、キャリア光の可視度について説明する。一般に可視度の定義は、周波数あるいは時間に対して変動する観測量(ここではスペクトル強度)の最大値をM、最小値をmとしたときに、 $(M-m)/(M+m)$ で表される。m=0のとき100%、m=Mのとき0%となる。図19、20の縦方向の幅はM/mで表されるが、可視度が大きくなると幅は大きくなり、可視度が小さくなると幅は小さくなる。

【0072】

ところで、本発明のマルチキャリア光源に用いるモード同期レーザ光源1については、第6の実施形態(図6)～第11の実施形態(図17)に示すように、モード同期レーザ光源部20の変調部に流れる平均電流、出力光の平均光電力、出力光に含まれる縦モードの線幅あるいはCN比、マスターレーザ光とモード同期レーザ光源部20の出力光のピート信号の線幅あるいはCN比を用いてマスターレーザ光とのロッキング状態を監視し、それに基づいてモード同期レーザ光源部20の光共振器長を制御することにより、ロッキング状態を長時間維持することができる。

【0073】

ここで、第8の実施形態(図11)、第9の実施形態(図13)、第10の実施形態(図14)、第11の実施形態(図16)に示すモード同期レーザ光源部20の出力光の縦モードをモニタする代わりに、本実施形態の導波路型光非線形媒質2の出力光中のキャリ

ア光を同様にモニタ対象としてもよい。

【0074】

図21は、導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第1例を示す。導波路型光非線形媒質2の全長あるいは一部で、モード同期レーザ光源1の出力光の平均波長における分散値(単位: ps/nm/km)が正から負に減少する特性を有する。このような波長分散特性は、例えばコア径が長手方向にテーパ状に変化する単一モード導波路で実現することができる。

【0075】

図22は、導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第2例を示す。本例では、第1例の分散減少特性に加えて、導波路型光非線形媒質2の全長あるいは一部で、波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有する。このような波長分散特性は、例えばコア径が長手方向にテーパ状に変化し、かつ2重クラッドあるいは3重クラッドあるいは4重クラッド構造の単一モード導波路で実現することができる。図19および図20のスペクトルは、この設計の光ファイバを用いたマルチキャリア光の例である。

【0076】

図23は、導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第3例を示す。導波路型光非線形媒質2の全長あるいは一部で、モード同期レーザ光源1の出力光の平均波長における分散値が0から -0.5 [ps/nm/km]で、かつ波長分散特性が上に凸の関数になる特性を有する。このような波長分散特性は、例えば2重クラッドあるいは3重クラッドあるいは4重クラッド構造の単一モード導波路で実現することができる。

【0077】

また、図21～図23の波長分散特性を有する導波路型光非線形媒質は、微細構造ファイバあるいはフォトニック結晶ファイバとも呼ばれるホーリーファイバを用いることにより実現可能である。このホーリーファイバは、例えばモード同期レーザ光源1の出力光の平均波長における分散スロープの絶対値が 0.1 [ps/nm²/km]以下で、非線形定数 γ が 10 [$W^{-1}km^{-1}$]以上となる。これを用いることにより、伝搬光の閉じ込め効果が高いので非線形定数が大きい光導波路を実現でき、高効率にマルチキャリア光を発生させることができる。

【0078】

(マルチキャリア光源の第2の実施形態)

図24は、本発明のマルチキャリア光源の第2の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、モード同期レーザ光源1と導波路型光非線形媒質2との間に、光増幅器3を配置したところにある。

【0079】

マルチキャリア光源のキャリア周波数間隔、すなわちモード同期レーザ光源1の繰り返し周波数が大きい場合、モード同期レーザ光源1の出力1パルスあたりのエネルギーが小さくなり、非線形光学効果が弱まってキャリア光が多く発生しない。そこで、本実施形態のように光増幅器3でモード同期レーザ光源1の出力光を増幅することにより、繰り返し周波数の大きい場合でも、導波路型光非線形媒質2で多くのキャリア光を発生させることができる。

【0080】

(マルチキャリア光源の第3の実施形態)

図25は、本発明のマルチキャリア光源の第3の実施形態を示す。本実施形態の特徴は、モード同期レーザ光源1と導波路型光非線形媒質2との間に、モード同期レーザ光源1の出力光の時間幅を圧縮するパルス圧縮器4を配置したところにある。

【0081】

モード同期レーザ光源1の出力光をパルス圧縮器4に入力することによりピーク強度が増大し、導波路型光非線形媒質2で多くのキャリア光を発生させることができる。パルス圧縮キャリア光4には、パルス光のチャープが大きい場合はチャープを相殺する光ファイバあるいはブラッググレーティング等の分散性媒質を用いる。パルス光のチャープが小さ

い場合には、光ファイバ中のソリトン効果等を利用する。

【0082】

なお、以上説明したマルチキャリア光源において、すべての構成要素を偏波保持型とすることにより、安定したマルチキャリア光を発生させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0083】

- 【図1】 本発明のモード同期レーザー光源の第1の実施形態を示す図。
- 【図2】 本発明のモード同期レーザー光源の第2の実施形態を示す図。
- 【図3】 本発明のモード同期レーザー光源の第3の実施形態を示す図。
- 【図4】 本発明のモード同期レーザー光源の第4の実施形態を示す図。
- 【図5】 本発明のモード同期レーザー光源の第5の実施形態を示す図。
- 【図6】 本発明のモード同期レーザー光源の第6の実施形態を示す図。
- 【図7】 モード同期レーザー光源部20のロッキング特性を示す図。
- 【図8】 変調部24に流れる平均電流の温度依存性を示す図。
- 【図9】 本発明のモード同期レーザー光源の第7の実施形態を示す図。
- 【図10】 モード同期レーザー光源部20の出力光の平均光強度の温度依存性を示す図。

- 。 【図11】 本発明のモード同期レーザー光源の第8の実施形態を示す図。
- 【図12】 導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光線幅の測定例を示す図。
- 【図13】 本発明のモード同期レーザー光源の第9の実施形態を示す図。
- 【図14】 本発明のモード同期レーザー光源の第10の実施形態を示す図。
- 【図15】 導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のC/N比の測定例を示す図。

- 。 【図16】 本発明のモード同期レーザー光源の第11の実施形態を示す図。
- 【図17】 本発明のモード同期レーザー光源の第12の実施形態を示す図。
- 【図18】 本発明のマルチキャリア光源の第1の実施形態を示す図。
- 【図19】 本発明のマルチキャリア光源の出力スペクトルの一例（注入同期あり）を示す図。

【図20】 本発明のマルチキャリア光源の出力スペクトルの一例（注入同期なし）を示す図。

- 【図21】 導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第1例を示す図。
- 【図22】 導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第2例を示す図。
- 【図23】 導波路型光非線形媒質2の波長分散特性の第3例を示す図。
- 【図24】 本発明のマルチキャリア光源の第2の実施形態を示す図。
- 【図25】 本発明のマルチキャリア光源の第3の実施形態を示す図。
- 【図26】 マルチキャリア光源の第1の従来例を示す図。
- 【図27】 マルチキャリア光源の第2の従来例を示す図。
- 【図28】 マルチキャリア光源の第3の従来例を示す図。

【符号の説明】

【0084】

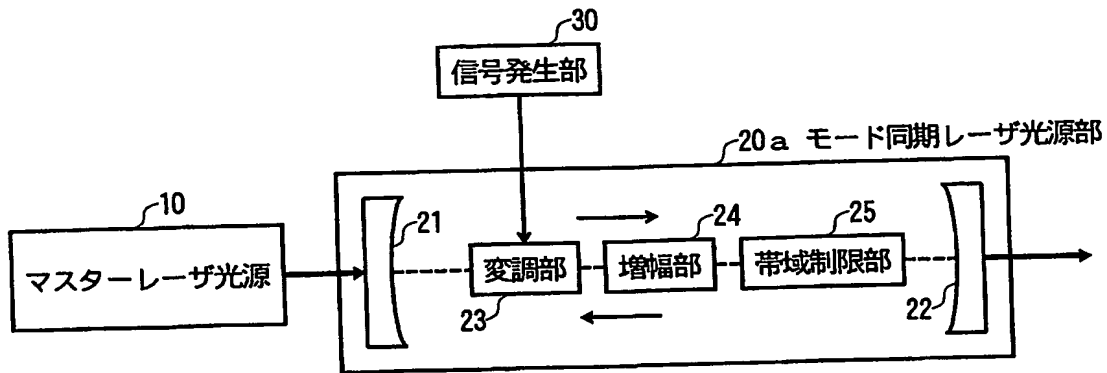
- 1 モード同期レーザー光源
- 2 導波路型光非線形媒質
- 3 光増幅器
- 4 パルス圧縮器
- 10 マスターレーザー光源
- 20 モード同期レーザー光源
- 21, 22 ミラー
- 23 変調部
- 24 増幅部
- 25 帯域制限部

- 30 信号発生部
- 41 光アイソレータ
- 42 光サーキュレータ
- 43 変調部平均電流測定部
- 44 光共振器長制御部
- 45 光強度測定部
- 46 光分岐器
- 47 光フィルタリング部
- 48 線幅測定部
- 49 光ミキサ
- 50 光周波数シフタ
- 51 CN比／強度測定部
- 60 光変調手段
- 70 信号発生部

【書類名】 図面

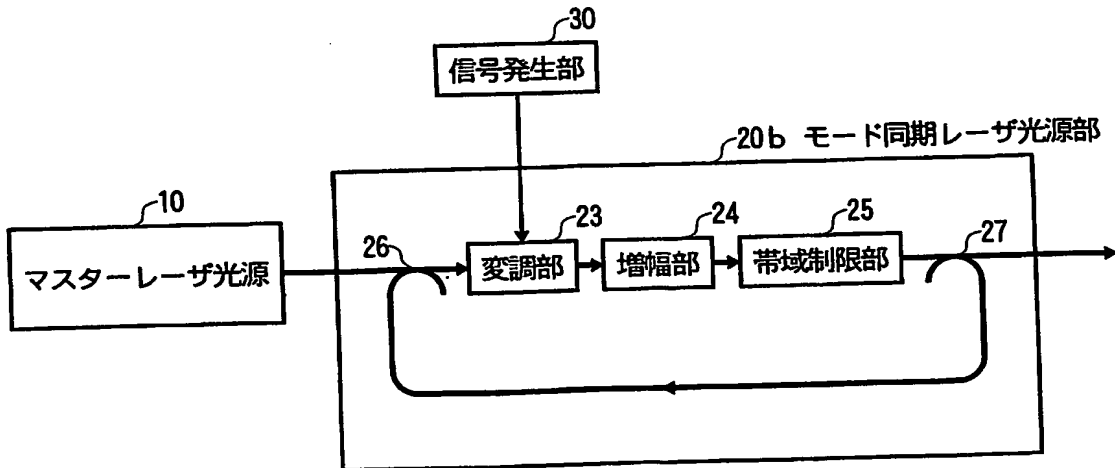
【図 1】

本発明のモード同期レーザー光源の第 1 の実施形態



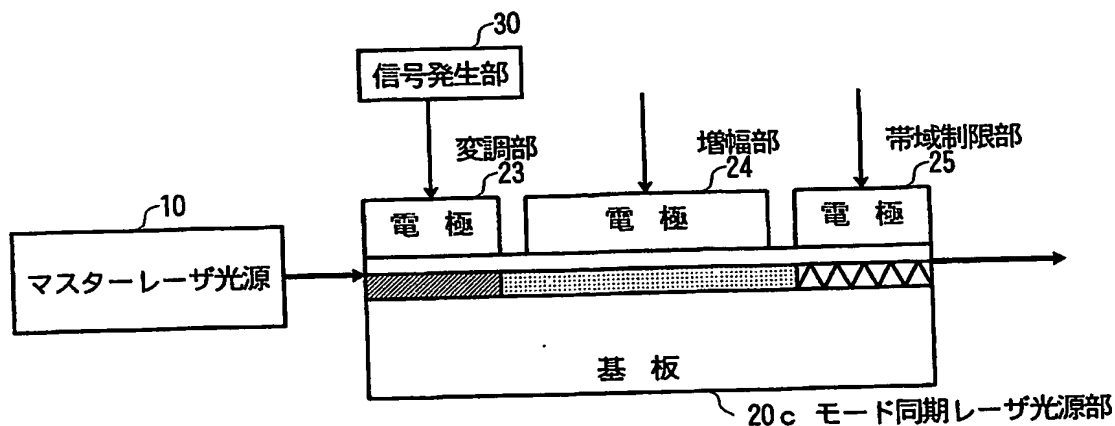
【図 2】

本発明のモード同期レーザー光源の第 2 の実施形態



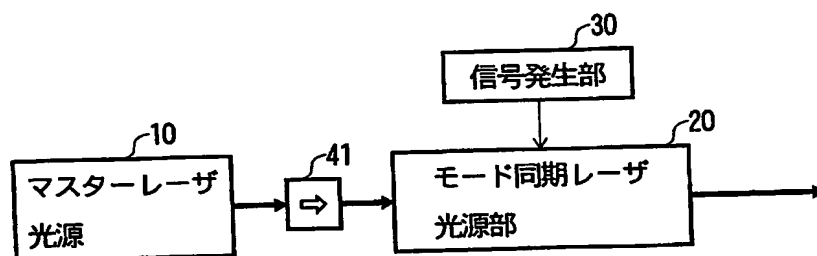
【図 3】

本発明のモード同期レーザー光源の第 3 の実施形態



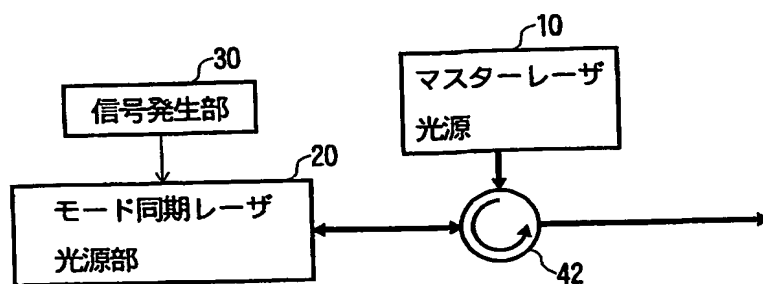
【図 4】

本発明のモード同期レーザー光源の第 4 の実施形態



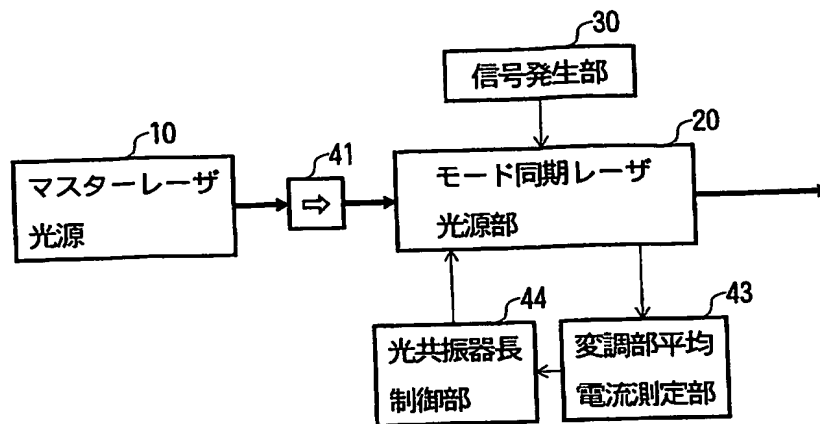
【図 5】

本発明のモード同期レーザー光源の第 5 の実施形態



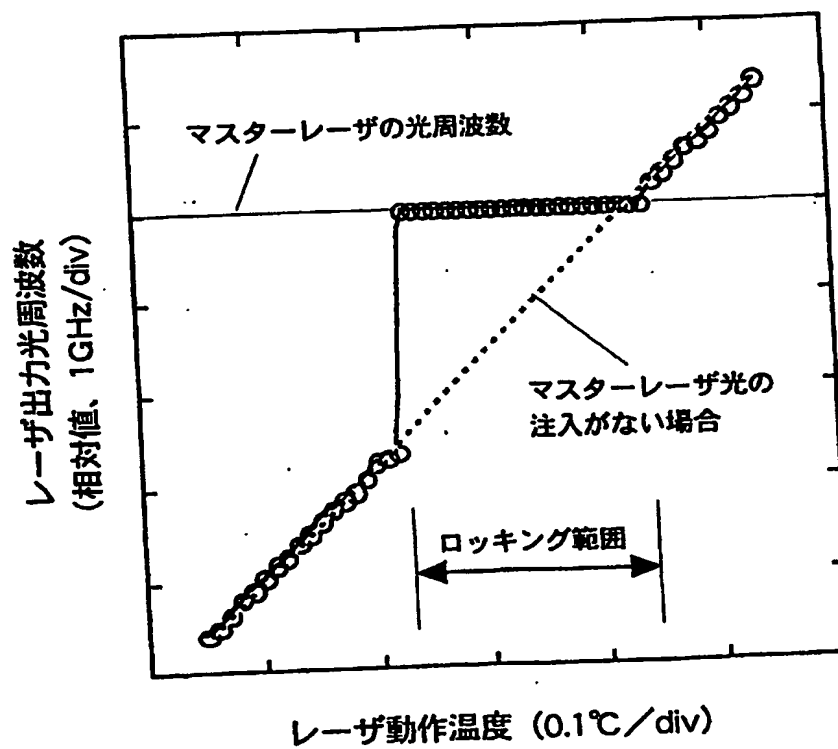
【図 6】

本発明のモード同期レーザー光源の第 6 の実施形態



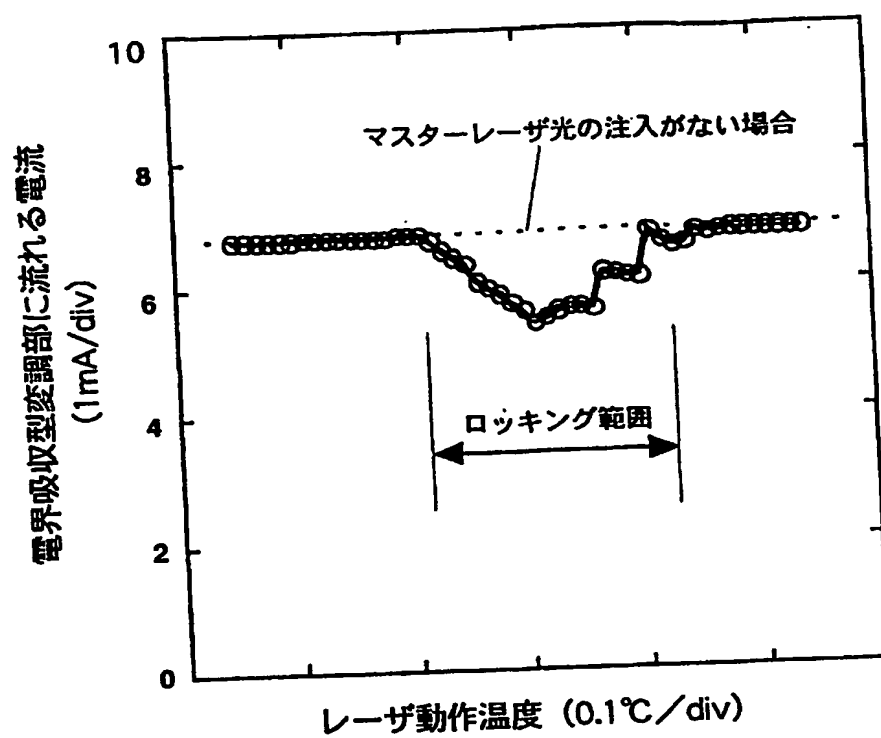
【図 7】

モード同期レーザー光源部 20 のロッキング特性



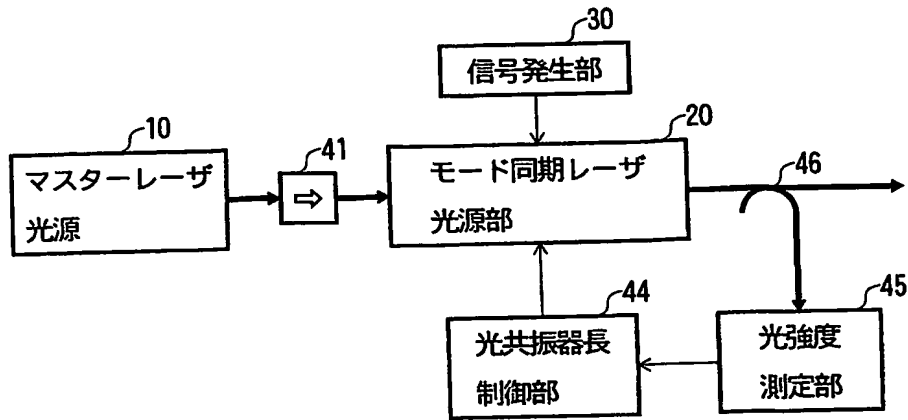
【図 8】

変調部24に流れる平均電流の温度依存性



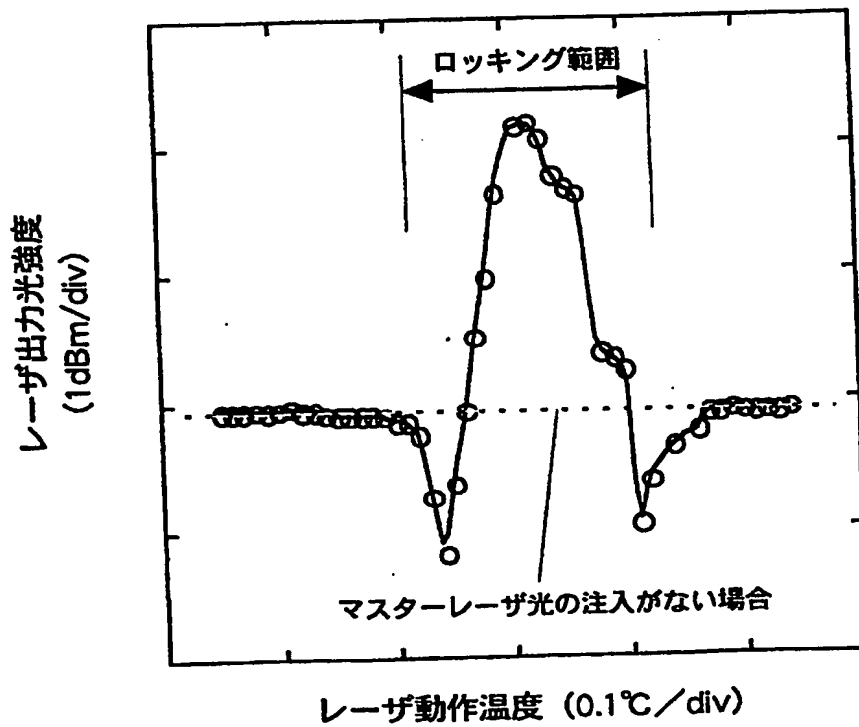
【図 9】

本発明のモード同期レーザー光源の第 7 の実施形態



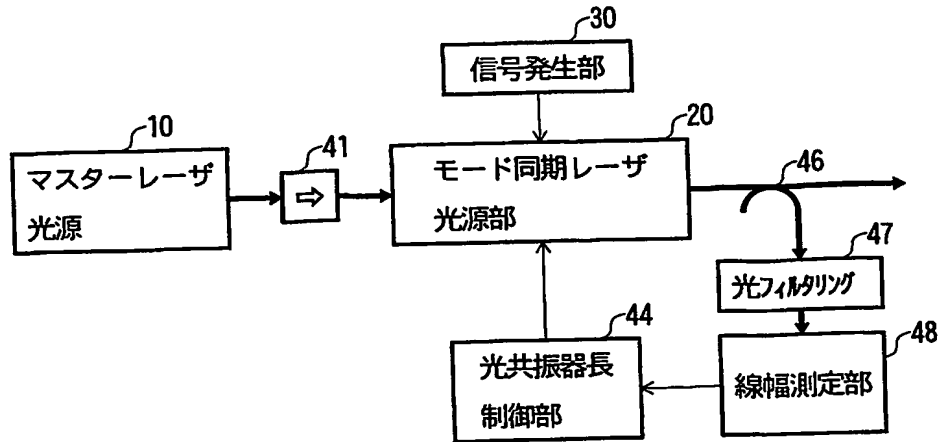
【図 10】

モード同期レーザー光源部 20 の出力光の平均光強度の温度依存性



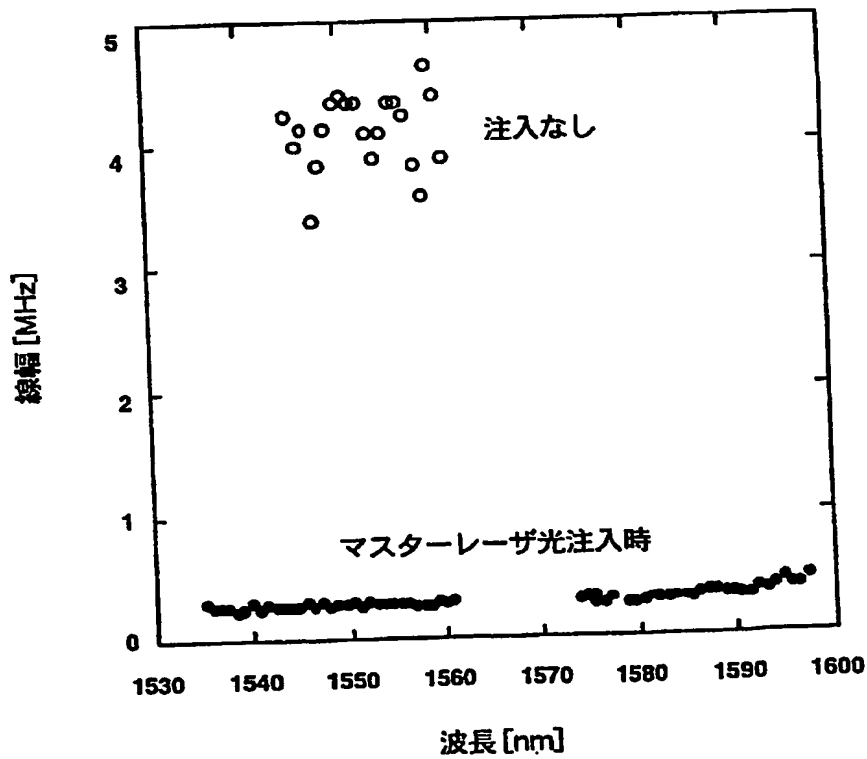
【図 11】

本発明のモード同期レーザー光源の第 8 の実施形態



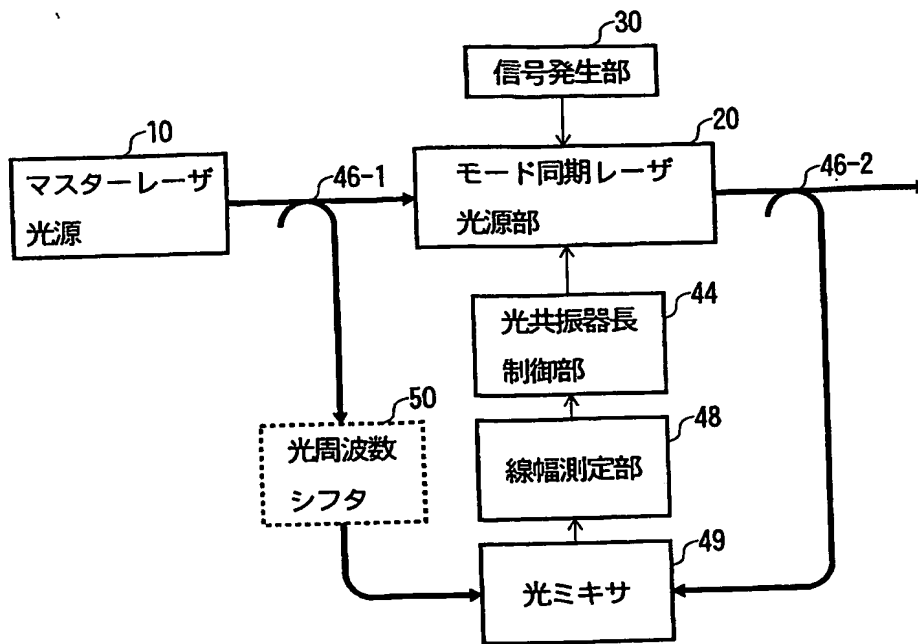
【図 12】

導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光線幅の測定例



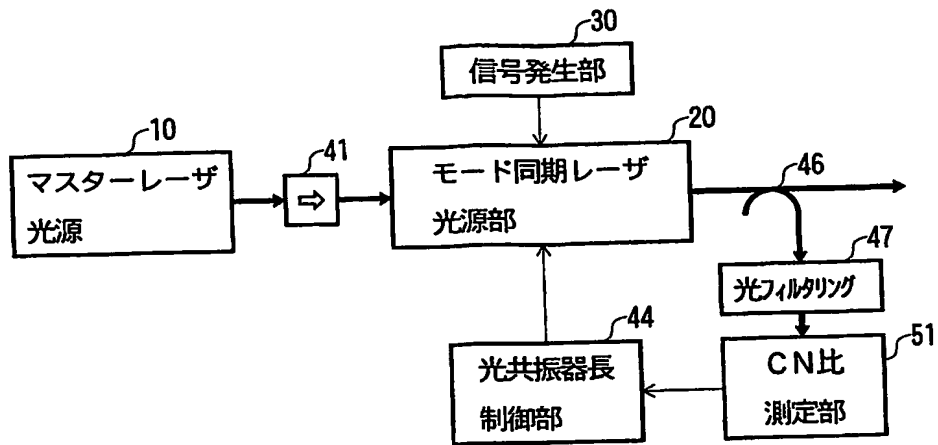
【図 13】

本発明のモード同期レーザー光源の第 9 の実施形態



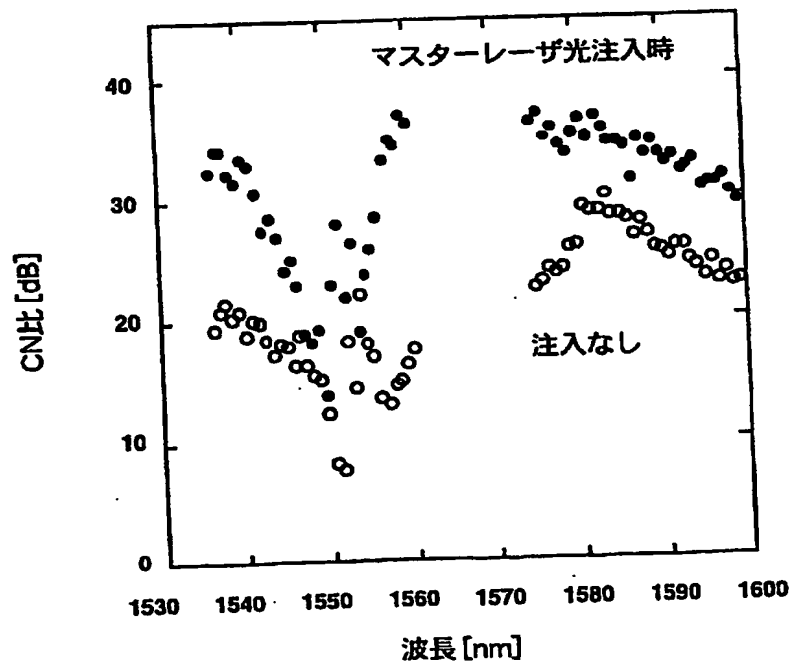
【図14】

本発明のモード同期レーザー光源の第10の実施形態



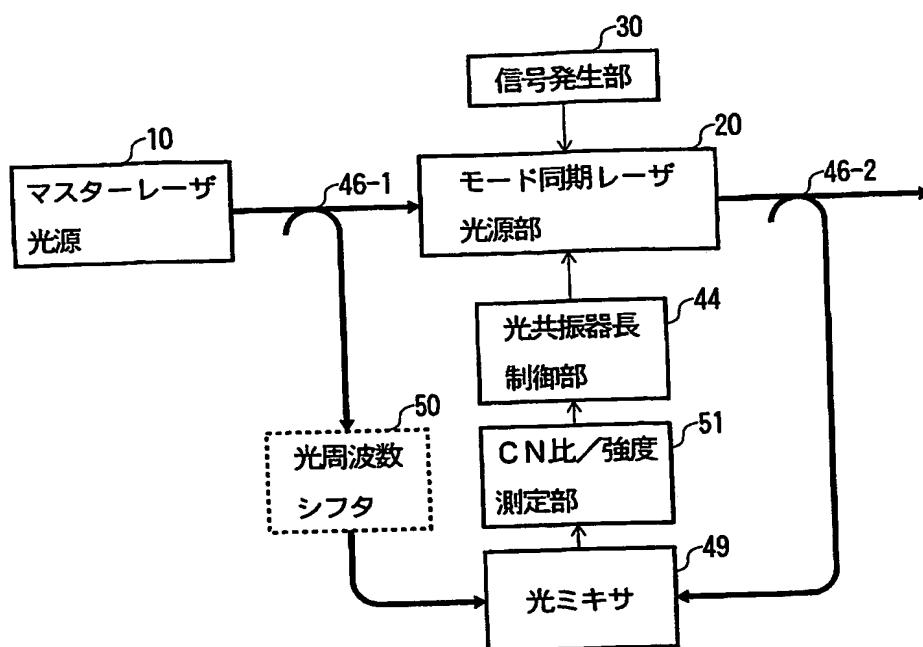
【図15】

導波路型光非線形媒質の出力光中のキャリア光のCN比測定例



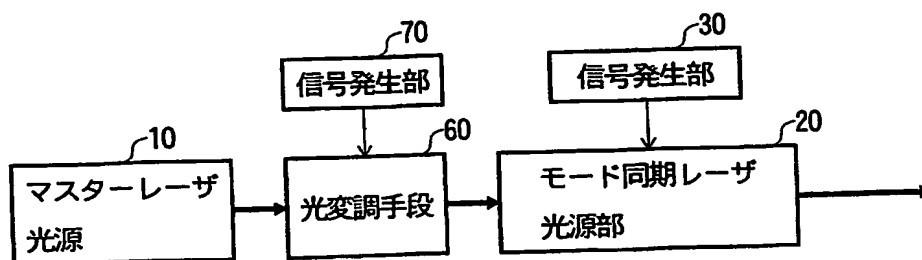
【図 16】

本発明のモード同期レーザー光源の第 1 の実施形態



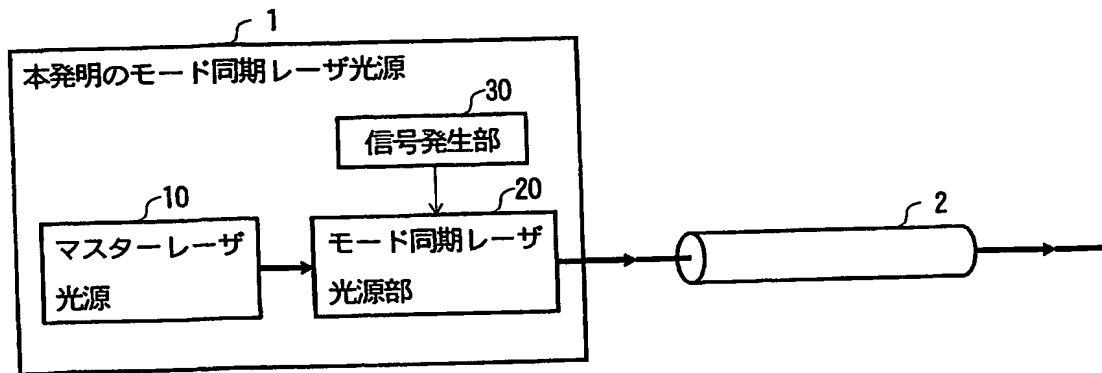
【図 17】

本発明のモード同期レーザー光源の第 2 の実施形態



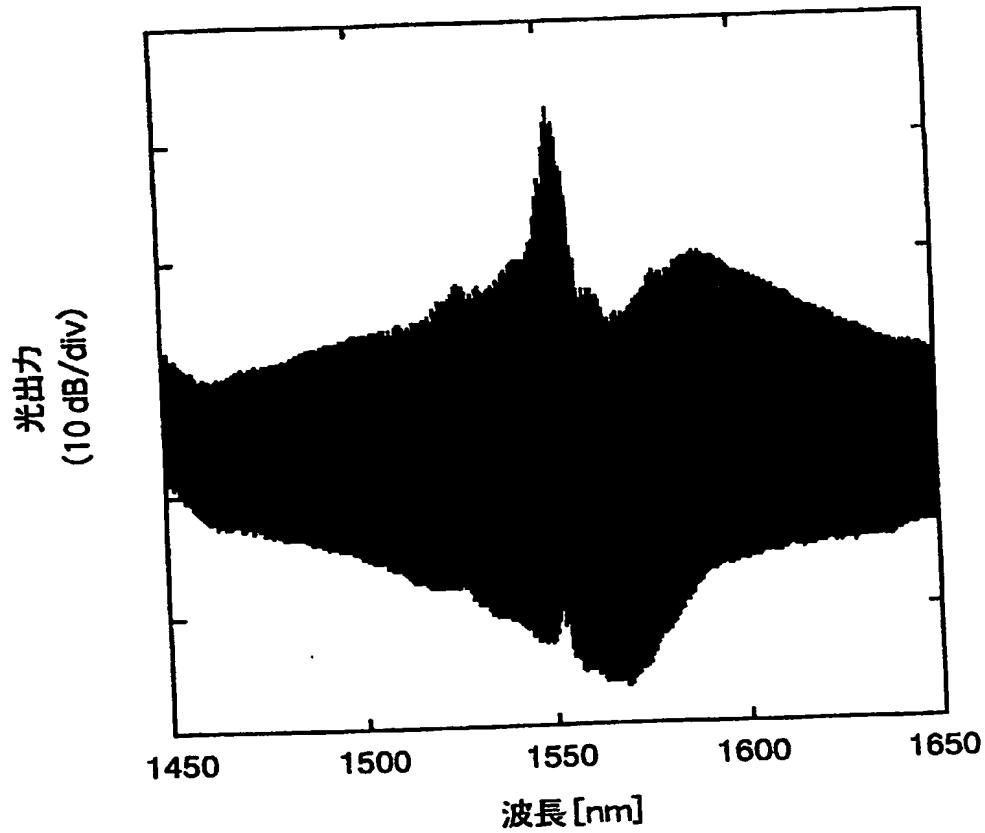
【図18】

本発明のマルチキャリア光源の第1の実施形態



【図19】

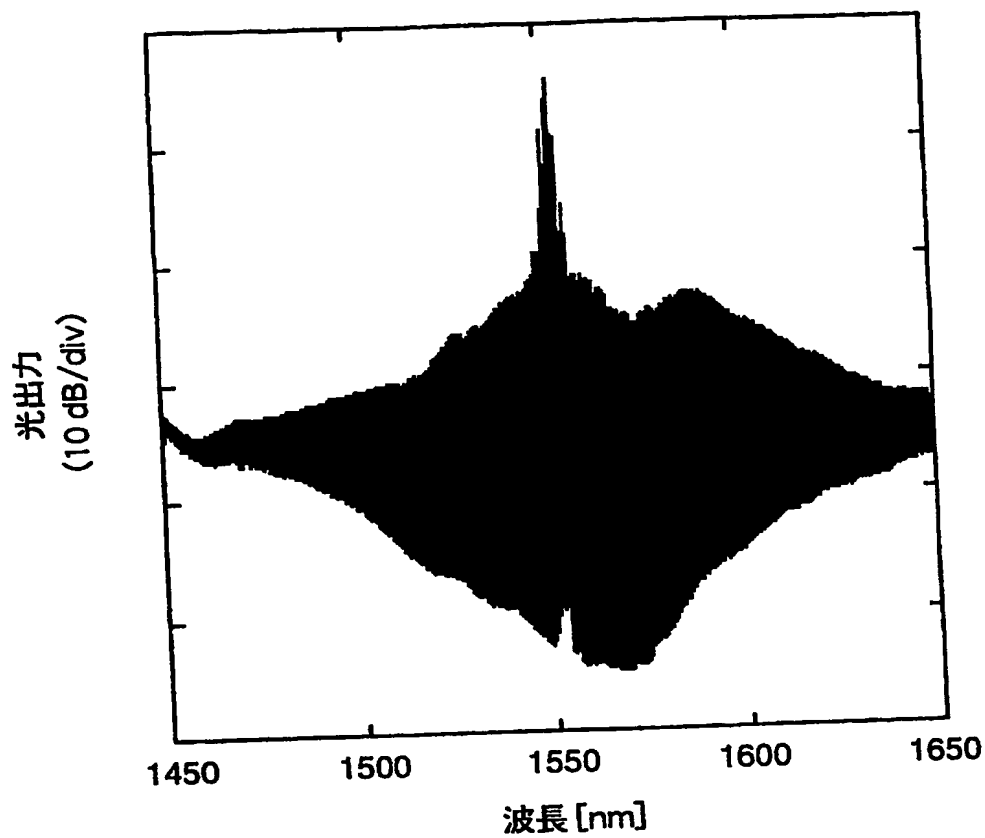
本発明のマルチキャリア光源の出力スペクトル



BEST AVAILABLE COPY

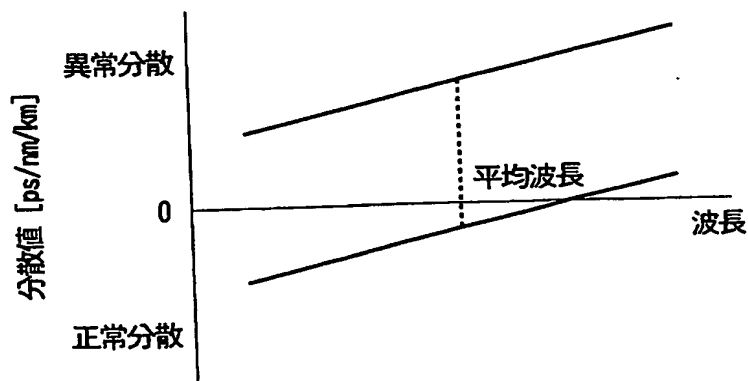
【図 20】

本発明のマルチキャリア光源の出力スペクトル



【図 21】

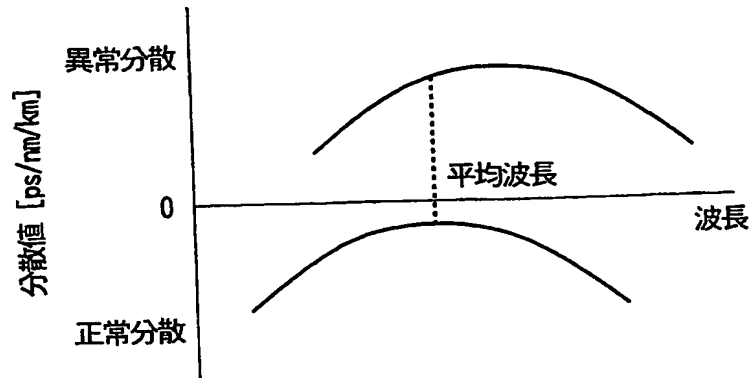
導波路型光非線形媒質 2 の波長分散特性の第 1 例



BEST AVAILABLE COPY

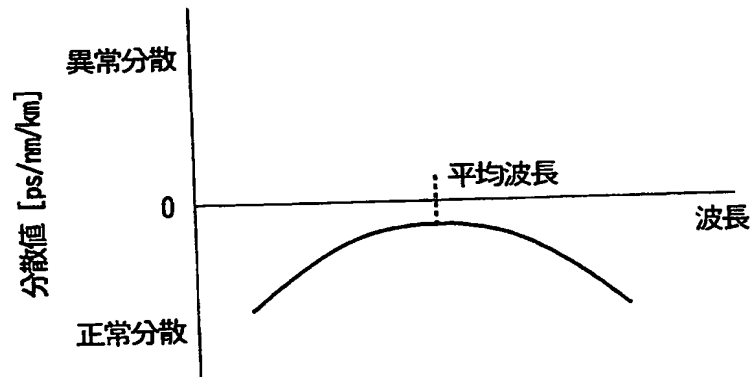
【図 2 2】

導波路型光非線形媒質 2 の波長分散特性の第 2 例



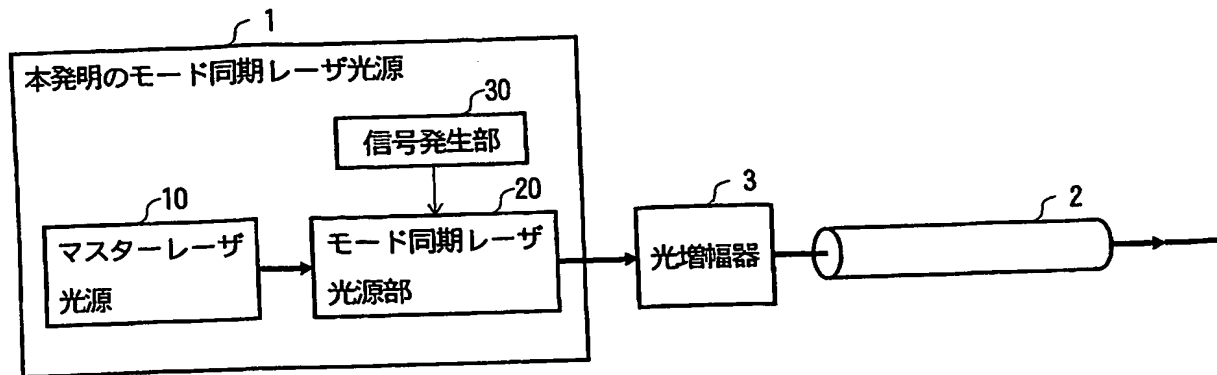
【図 2 3】

導波路型光非線形媒質 2 の波長分散特性の第 3 例



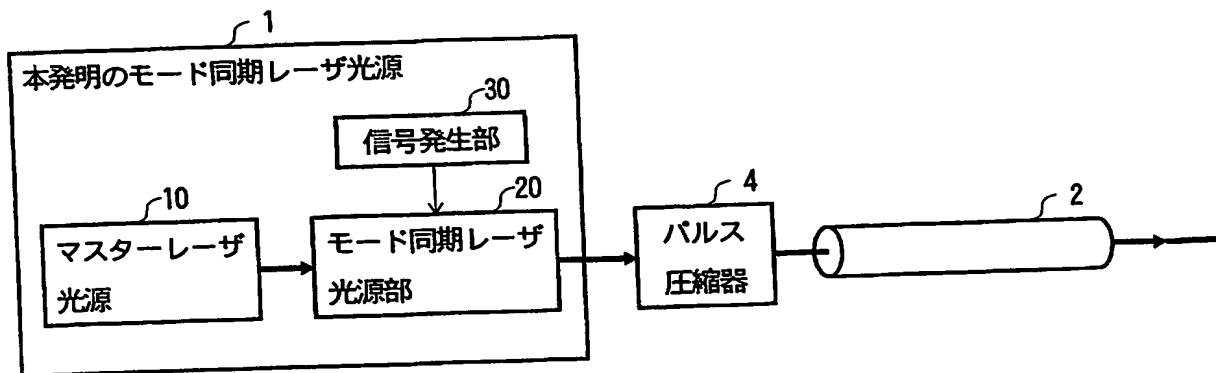
【図 24】

本発明のマルチキャリア光源の第 2 の実施形態



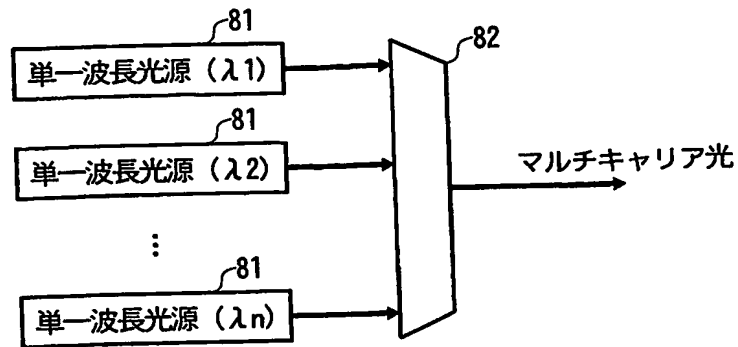
【図 25】

本発明のマルチキャリア光源の第 3 の実施形態



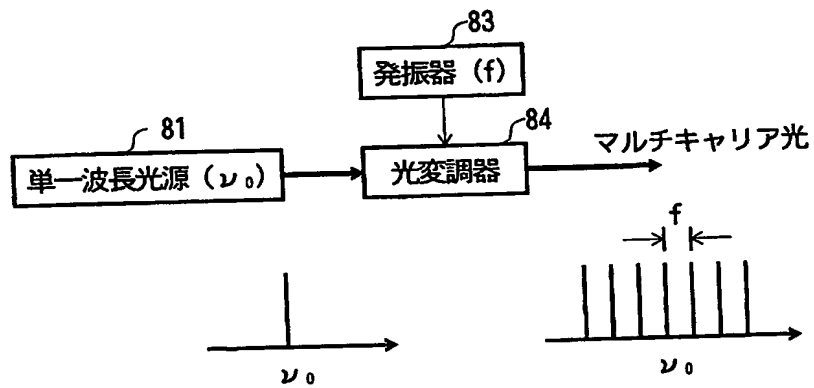
【図 26】

マルチキャリア光源の第 1 の従来例



【図 27】

マルチキャリア光源の第 2 の従来例



【図 28】

マルチキャリア光源の第 4 の従来例



【書類名】 要約書**【要約】**

【課題】 各キャリア光の周波数を安定化し、かつ高品質のマルチキャリア光を発生させるための光源となるモード同期レーザ光源、およびそれを用いたマルチキャリア光源。

【解決手段】 マスターレーザ光を発生するマスターレーザ光源と、光共振器中に少なくとも変調部と、増幅部と、モード分配雑音を低減する帯域制限部を含むモード同期レーザ光源部と、モード同期レーザ光源部のモード同期のための変調部に印加する周期的信号を発生する信号発生部とを備え、マスターレーザ光をモード同期レーザ光源部の光共振器に入射して注入同期させる構成である。マルチキャリア光源は、このモード同期レーザ光源に導波路型光非線形媒質を組み合わせる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 4 - 0 2 8 0 7 9

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 2 6]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目3番1号

氏 名

日本電信電話株式会社

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/001615

International filing date: 03 February 2005 (03.02.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-028079
Filing date: 04 February 2004 (04.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 31 March 2005 (31.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse